

LAS SALES Y SU INCIDENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE LA CERÁMICA ARQUEOLÓGICA

Carmelo FERNÁNDEZ IBÁÑEZ
Museo de Palencia. Plaza del Cordón s/n, 34001 Palencia
carmelofdez@delfin.retecal.es

1. Introducción

Es un hecho fehaciente el que la cerámica, ya sean recipientes completos o en cientos de fragmentos, es la materia que, con mucha diferencia, se recoge en más cantidad y variedad de los yacimientos arqueológicos. Se puede asegurar que el incremento de su aparición en número y volumen aumenta con el devenir de las culturas.

Todo investigador que se encuentre familiarizado con ella sabe de su acusada resistencia físico-química, y que aún con naturales límites se hace difícil su total y absoluta destrucción. No obstante se encuentra sujeta a cierto tipo de alteraciones que, con el paso del tiempo y una vez se encuentra lejos de los ecosistemas (tierra o agua) donde ha permanecido milenios, puede verse seriamente dañada, y con ella la información que aporta al conocimiento.

Roturas, abrasiones, pérdidas de materia, minerales secundarios, manchas orgánicas e inorgánicas... y un buen número más de alteraciones, forman de por sí una tan conocida como extensa lista. Entre todas ellas hay dos que no hemos citado y que siempre se han considerado importantes, por otra parte muy comunes a buen número de los hallazgos. Y lo que es aún más importante, con posibilidades de ser erradicadas. La historiografía las documenta prácticamente desde los orígenes de los tratamientos el pasado siglo, además (y quizás por ello) de constituir serios problemas de conservación a largo plazo y cara a su estudio histórico, cuya magnificación además en objetos sumergidos es manifiesta.

Nos estamos refiriendo más en concreto a un aspecto de la conservación cerámica tan importante como son las sales, tanto solubles como insolubles. Su problemática hoy, contrariamente quizás a lo que pueda creerse, es algo tan común como poco conocida. Los procesos, mecanismos y ritmo de sus comportamientos físico-químicos de absorción, eflorescencia y disolución suponen conocimientos en buena parte ignotos y que van siendo investigados por algunos profesionales, aunque a un ritmo más bien pausado en comparación con otro tipo de problemáticas. Son tratamientos que siempre hemos creído sencillos y con escasa dificultad, aunque en pura realidad, dificultad es precisamente lo que tienen.

El tema creemos es idóneo en esta monografía, debido a que las sales for-

man parte insoluble del entorno submarino en especial, y subacuático en general. Así como también son frecuentes las formaciones de duras costras. Resulta ineludible acometer una empresa de arqueología subacuática, sin contar, entre la infraestructura, con equipos de desalación y limpieza química. Por lo tanto, también acometemos en este estudio los diferentes modos de estabilización y limpieza, lo que indudablemente cuenta con un doble valor al poder ser aplicada toda la información que aquí aportamos también a los hallazgos terrestres.

2. Tipos y características

Las sales son minerales cuya presencia es muy abundante tanto bajo tierra como en el mar, donde en este último se encuentran presentes en una tasa de aproximadamente 35 g/kg (35 ‰) de agua, aunque esta cantidad varía según las características de cada masa acuosa¹. Se conocen un gran número de tipos de sales (siendo los más abundantes los cloruros de calcio y magnesio) y la importancia de su conocimiento en los diferentes ecosistemas ha ido creciendo, desde que B. Palissy demostrase ya en el siglo XVI la importancia que tienen en el subsuelo. Una de sus principales características y que para nosotros tiene una gran trascendencia, es la capacidad y facilidad de disolución en el agua y por lo tanto también de absorción (higroscopicidad). De tal manera que su presencia en el terreno supone que ha llegado a través de las capas freáticas disuelta en el agua y que, previamente, la ha disuelto al pasar por un estrato sólido, bien depositada en un lugar secundario bien habiendo sido precisamente transportada por ella (GUINEA LÓPEZ, 1953: 33). También las sales provienen de antiguas o modernas deposiciones orgánicas en descomposición como pueden ser cadáveres, cenizas, etc.

El efecto tan pernicioso que estos minerales tienen en la cerámica es conocido ya de antaño (PLENDERLEITH, 1967: 376-377), traducándose en eflorescencias de sus cristales (Lámina I) al haberse impregnado con el agua que las contenía en disolución, y que formaba parte de forma natural de

los ecosistemas (tierra o agua) en los que durante milenios los objetos de cerámica han permanecido. Por ello son motivo frecuente de su alteración, tanto de tipo físico como roturas, deformaciones, descamaciones, costras... y/o bioquímico como transformaciones en sus componentes, manchas, etc. (PETERAKIS, 1987; PICON, 1976: 164-165; JEDREZJEWSKA, 1970)

La penetración del agua se lleva a cabo por capilaridad a través de los poros existentes en la



Lámina I: Eflorescencias de Coluro Sódico sobre una lucerna romana

masa cerámica (Figura 1), y cuyas características físicas de %, volumen, diámetro, etc. dependen de cada tipo cerámico² y grado de conservación. La porosidad es una de las características naturales de muchas materias sólidas, estableciendo por medio de ella el contacto y los intercambios con el medio exterior que las rodea, y por lo tanto siendo responsable de su estabilidad. Si bien, ésta migración de soluciones salinas desde el exterior hacia el interior de la cerámica y viceversa, se rige por las leyes de capilaridad y su transporte por el llamado “gradiente de humedad”. Es decir, que migrará desde las zonas húmedas hacia las secas hasta impregnar totalmente a éstas. Debemos tener también en cuenta que en la cerámica penetran diferentes tipos de sales en proporciones así mismo distintas.

Qué duda cabe de que el diámetro de los poros y la velocidad de evaporación, y la relación entre ambos, son dos importantes factores que directamente inciden tanto en la absorción como en la desalación. Lo que en un tamaño y definición mínimos -por ejemplo en este último caso- actúan en detrimento de la extracción de las sales; resultaría todo lo contrario en magnitudes mayores.

Una vez se encuentran las sales ya en el interior de la masa cerámica, al estar expuestas a una humedad relativa (H.R.) baja, cristalizan en el interior de los poros y las más solubles se emplazan en la zona exterior de éstos. Al ir paulatinamente evaporando el agua que retienen forman las primeras eflorescencias (*subeflorescencias*)³. Este fenómeno es el que entraña mayor peligro y riesgo ya que al aumentar de tamaño crean presiones en cuña superiores a 100 Atmósferas y desencadenan tensiones internas, unido a que cada tipo salino cristaliza a una

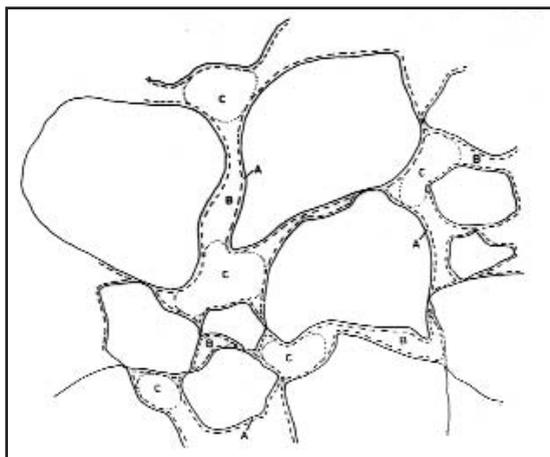


Figura 1: Reconstrucción ideal de la distribución del agua embebida en la red capilar de una determinada materia porosa: A- Agua absorbida, B- Agua capilar, C- Agua libre (sg. Sneyers y Henau)

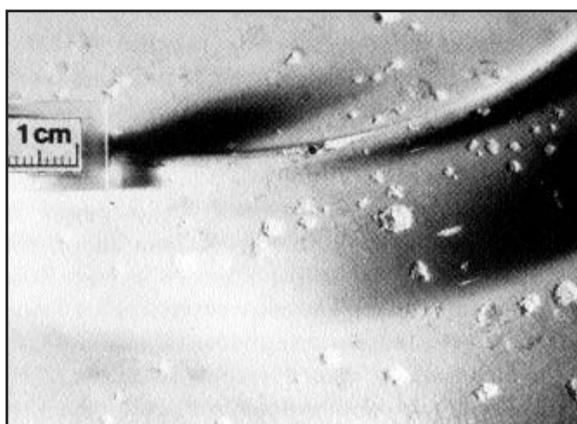


Lámina II: Porcelana extraída del fondo marino, mostrando levantamientos puntuales de la película de vidrio debido a eflorescencias de Cloruro Sódico (sg. C.Pearson)

determinada H.R. Pero cuando surge el efecto contrario y aumenta la H.R. del lugar donde se halla el recipiente, las sales vuelven a hidratarse y a disolverse con ayuda de la humedad ambiente (con aumento de volumen al hidratarse y crear una nueva presión en los poros), tendiendo a evaporarse hacia el exterior del objeto. Una vez sale el agua al exterior, se evapora por completo y la sal permanece en superficie creando las eflorescencias externas, cuya presencia destruye el área contigua al foco. En el caso de tratarse de una cerámica vidriada, la película exterior compacta y en absoluto porosa, acumula las eflorescencias bajo ella, por lo que la presión que ejercen hacen reventar el vidrio (Lámina II).

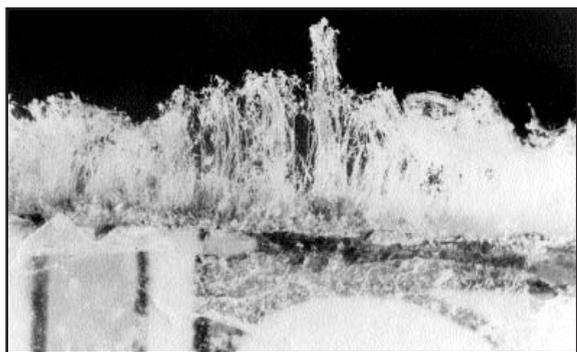


Lámina III: Cristales de Cloruro Sódico
(Foto: Leandro de la Vega)



Lámina IV: Imagen SEM de eflorescencias de Cloruro de Potasio
(sg. J. Allen)

Las sales que de forma más común están presentes y detectamos, es decir, las que en su mayoría conocemos y son más solubles en agua, etc., son: Cloruros, Nitratos, Fosfatos, Carbonatos y Sulfatos aunque cada una de éstas presenta una solubilidad diferente.



Lámina V: Fragmento de cerámica prehistórica recogida en superficie, parcialmente cubierta por sulfatos

Los Cloruros (Láminas III y IV) son extremadamente comunes ($\pm 95\%$) tanto en tierra como en el mar (en forma natural la mayoría de las veces), pero pueden haber sido incorporadas de forma artificial por el hombre en un determinado lugar. Este Cloruro de Sodio puede ejercer un máximo de 2.190 Atmósferas (A), presión más que suficiente como para desintegrar cualquier objeto cerámico (KOOB y YEE NG, 2000: 260) (Lámina IV). Los Nitratos, más higroscópicos que los anteriores, raramente aparecen formando eflorescencias; proceden de la descomposición de la materia orgánica, acción de bacterias nitrificantes, la actividad humana o de animales y de abonos nitrogenados (ESTELLER ALBERICH, GIMÉNEZ FORCADA y MORELL EVANGELISTA, 1989: 499 y 504; GEDYE, 1979: 118;

GUITIÁN OJEA *et alii*, 1987: 394-395). Los Fosfatos pueden deberse a los restos de una actividad humana como por ejemplo las cenizas dejadas por hogares, hornos (de fundición o cocción) o presencia de huesos (vertederos, enterramientos, depósitos), etc. Todos los Sulfatos son solubles excepto los de estroncio, bario y plomo; los de calcio y plata son poco solubles. Los Carbonatos son muy lenta y débilmente solubles. Carbonatos y Sulfatos forman también duras costras sobre los objetos arqueológicos -sobre todo los primeros-, y la presencia de los últimos en una proporción del 0'1% ya se considera peligrosa incluso para la piedra.

Pero a veces es curioso constatar cómo se extraen del terreno cerámicas sin apenas sales en su interior. El mismo ecosistema que altera de forma natural los materiales también de forma natural los vuelve a estabilizar. Así vemos cómo en determinadas zonas geográficas con abrupta orografía y extrema climatología se produce un efecto lixiviante, o sea una desalación natural, ya que el agua percola a través de los edafosistemas donde se encuentran enterrados los fragmentos de cerámica, produciendo este efecto. En la Península Ibérica hemos constatado este hecho en la zona norte, climáticamente denominada como España Húmeda (FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, 1988; 1998; FERNÁNDEZ IBÁÑEZ y PÉREZ GONZÁLEZ, 1983-84).

Pero estos fenómenos también se observan dentro de los edificios como pueden ser los almacenes de un determinado museo. A través de nuestra experiencia de años hemos observado repetidas veces que, vasijas almacenadas en lugares inapropiados sin ningún control medioambiental, y en las que no se ha llevado a cabo tratamiento alguno de desalación, en el momento de efectuar éste, las mediciones de conductividad demuestran contener a veces un índice salino mayor que en las que recientemente han sido extraídas de la tierra (FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, 1998: 39; 1990: 157). No hemos tenido la oportunidad ni los medios de llevar a efecto un necesario microanálisis químico. Quizás y entre otros tipos de sales, estas cerámicas puedan contener Calclacita ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CaCl}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) según han demostrado Wheeler y Wypyski (1993), que han surgido a partir de los vapores ácidos producidos por los embalajes (FITZHUGH y GETTENS, 1971).

La Humedad Relativa en nuestros museos es más bien variable en función de los continuos cambios en su climatología, ya que el edificio es un "contenedor" cuyo microclima fluctúa en función de la latitud donde geográficamente se ubica el edificio. Necesariamente el "contenido" (cerámico en nuestro caso), se verá afectado por estos cambios. Cuanto mayor sea la fluctuación de la H.R., las distintas sales se disolverán, cristalizarán, recristalizarán... una y otra vez, con el consiguiente viaje desde el interior de la masa cerámica a la superficie, movidas por la evaporación del agua en la que se encuentran disueltas.

Otros tipos salinos de carácter artificial como el anterior y detectados en cerámica antigua ha sido la Carnalita⁴ y la Carnalita de Amonio ($\text{NH}_4\text{MgCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$), así como otros tipos de Magnesio y Potasio presentes en menor proporción. Parecen proceder de los restos de un tratamiento de descarbonatación llevado a cabo con Ácido Clorhídrico, no habiendo sido ade-

cuadramente neutralizados los restos de este producto, o bien haciéndolo mediante Hidróxido de Amonio, siempre que no sean los restos de otro desconocido tratamiento de limpieza (WHEELER y WYPYSKI, 1993).

3. Tests de identificación

Con el fin de confirmar la presencia de un determinado tipo de sal (nunca ser tomado como la cantidad real que el objeto contiene o pueden contener), existen una serie de análisis de sencilla realización, alguno de los cuales es muy conocido.

Para determinar la presencia de *Cloruros* (Cl^-), este método fue hace años publicado por Semczak (1977), resultando eficaz, conocido y extendido (LÓPEZ SOLANAS, 1991: 76 y 131; PETERAKIS, 1987: 71; PEARSON, 1984: 128; SINGH, 1987: 58; TEUTÓNICO, 1988: 63). En un tubo de ensayo (o también en un portaobjetos si se desea visualizar bajo binocular) se toma una muestra del agua desionizada, a ser posible del fondo del recipiente, donde hayan permanecido sumergidos los objetos a testar al menos veinticuatro horas. Se le adiciona unas gotas de Ácido Nítrico $-\text{NO}_3\text{H}-$ previamente disuelto por ejemplo al 10%, y posteriormente otras de Nitrato de Plata $-\text{NO}_3\text{Ag}-$ (previamente diluido al 1%). La formación de un precipitado blanquecino o blanco-azulado de Cloruro de Plata anunciará la presencia de sales cloradas, de intensidad mayor o menor, según la presencia de una mayor o menor cantidad de sales disueltas, que desaparece adicionando Amoníaco⁵ $-\text{NH}_3-$. El contraste del tubo de ensayo con un fondo oscuro (cartulina, pared...) resaltará el test cuando éste demuestre la presencia de escasa salinidad y sea difícil de percibir a simple vista.

Para determinar la presencia de *Nitritos* (NO^2) se ha de proceder a tomar una muestra de agua como anteriormente vimos. Se adiciona unas gotas de Ácido Acético $-\text{CH}_3\text{COOH}-$ diluido al 2%. J. M. Teutónico (1988: 63), adiciona 1-2 gotas del reactivo Griess-Hosvay's. López Solanas (1991: 77) habla de añadir 6 gotas del reactivo Griess-Ilosvay "A"⁶, y seguidamente 6 gotas más del reactivo Griess-Ilosvay "B"⁷. En todos los casos la formación de un color rosa más o menos intenso indicará la presencia de estas sales.

Otro sistema eficaz pero no recomendable debido al peligro de toxicidad y quemaduras que suponen los productos a emplear, es añadir a 1 cm^3 de agua de análisis más 3 cm^3 de Ácido Sulfúrico $-\text{H}_4\text{O}_2-$, enfriando a continuación el tubo mediante agua. Seguidamente se disuelven varios cristales de Brucina. Una coloración amarilla nos asegurará su presencia (LÓPEZ SOLANAS, 1991: 77-78).

Finalmente, estas sales pueden ser detectadas cómodamente mediante varillas indicadoras de determinación rápida semicuantitativa de iones, como las expedidas por la casa comercial Merck bajo la marca MERCKO-QUANT® 1.10020.0001/1.10050.0001. Dichas varillas presentan dos zonas: una de ellas indica la presencia o no tanto de Nitratos como de Nitritos; la opuesta sólo de éstos últimos.

La presencia de *Nitratos* se pueden realizar mediante dos procedimientos.

En primer lugar y utilizando el resultado del test anterior, y si en éste no había rastro alguno de Nitritos, se le añade 1-2 gotas de Ácido Acético y un poco de zinc. El ácido reduce los Nitratos -en caso de existir- a Nitritos, y pone en evidencia a aquellos mediante la coloración rosa de la que hablamos antes.

También puede hacerse el test mediante una nueva muestra de agua, a la que se le añade uno o dos cristales de Ácido Sulfámico $\text{-HSO}_3\text{NH}_2\text{-}$ para destruir los Nitritos en caso de que existiesen y no contaminar el análisis. A continuación se siguen los pasos vistos para la detección de Nitritos (Ác. Acético + reactivo Griess) en las mismas proporciones, además de un poco más de zinc; la coloración rosácea dará positivo el análisis (TEUTÓNICO, 1988: 64).

Otro sistema algo más complicado (LÓPEZ SOLANAS, 1991: 77-78), es introducir 1 cm^3 de agua para su análisis en un tubo de ensayo, al que de forma cuidadosa y con la protección adecuada se le adiciona 1 cm^3 de Ácido Sulfúrico; se enfría el tubo en una corriente de agua. Se añade a continuación 1 cm^3 de un preparado a base de Sulfato de Hierro⁸, dejándolo resbalar por la pared del tubo procurando que ambos líquidos no se mezclen. En caso de que haya Nitratos, en la zona o banda de unión entre ambos líquidos, aparecerá un anillo de color pardo oscuro o pardo rojizo. Pero, como esta reacción también la dan los Nitritos, sólo estaremos completamente seguros si previamente hemos realizado la prueba de Nitratos y ha dado negativo el resultado.

Los *Sulfatos* (SO_4) pueden ser detectados mediante un sencillo test. A una muestra de 4-5 cm^3 agua se le añaden 1-2 gotas de Ácido Clorhídrico -HCl - diluido al 2% y se calienta en un mechero bunsen hasta que empiece a hervir. Se retira y se añaden 1-2 gotas de Cloruro de Bario $\text{-Cl}_2\text{Ba}$ - diluido al 10%. Estaremos en presencia de las sales si se forma un precipitado de color blanco de Sulfato de Bario $\text{-SO}_4\text{Ba}$ - que es insoluble en ácido Clorhídrico diluido (LÓPEZ SOLANAS, 1991: 76-77; TEUTÓNICO, 1988: 63).

4. Disolución de sales solubles

Hasta ahora tres son los sistemas más efectivos que se conocen para la eliminación de las sales solubles (desalación), teniendo todos ellos la particularidad común de llevarla a efecto por medio de su disolución en agua. Estos son los “*Baños Estáticos*”, “*Baños Dinámicos*” (sobre los que incidiremos aquí de forma especial), y los “*Emplastos*”. Los dos primeros comparten, el que su efecto se lleva a cabo dejando reposar la cerámica por inmersión en agua destilada o desionizada, aunque este aspecto tiene sus matizaciones como veremos.

Serán imprescindibles cambios periódicos del líquido en el primer caso (resulta común el cambio diario), cepillando suavemente continente y contenido, y utilizando una corriente continua en el segundo. Ya que siempre se ha asegurado que el movimiento del agua producía mayores efectos en la disolución de las sales en la cerámica. La rapidez y por lo tanto, la mayor eficacia de estos procedimientos, radica en la diferencia entre la sal contenida y la sal disuelta. Siempre se ha considerado que aumentar la temperatura hasta los $50^\circ\text{-}60^\circ\text{C}$ aumentaría el proceso de desalación, ya que la disolución

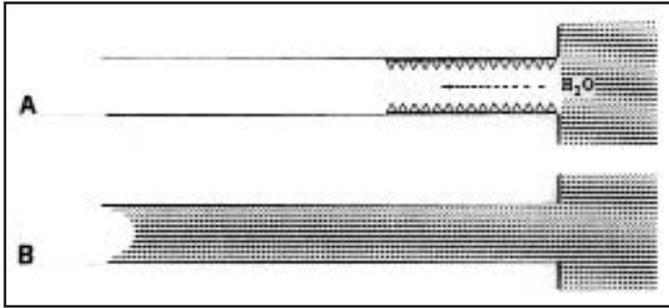


Figura 2: Esquema del proceso de disolución de las sales (desalación) en un Baño Estático; A- Disolución de las sales cristalizadas en los poros, B- Las sales una vez disueltas por el agua del baño (sg. DOMASLOWSKI *et alii*)

duplica con el calor su efectividad cada 10°C, así como la difusión del líquido por el interior de la red capilar al dilatarse los poros. Se ha llegado a asegurar que la disolución también puede efectuarse introduciendo el baño en vacío (THEILE BRUHMS, 1996: 136) al verse forzada la difusión del agua.

4.1. Conocimientos generales

La mecánica de los baños estáticos se basa en la inmersión de las vasijas o los fragmentos en agua, hacia donde emigran las sales en busca de un equilibrio iónico (Figura 1) y donde se efectúa su disolución (Figura 2). Según unos autores, el cambio de agua debe ser de forma periódica y regular, realizándose cada veinticuatro horas, previa comprobación de la cantidad de sales disueltas o simplemente de la presencia de éstas (KOOB y YEE Ng, 2000: 265), bien mediante conductímetro o bien mediante test. Seguidamente las cantidades se reflejarán en una gráfica en la que iremos visualizando esta disolución. Otros, proponen que el cambio de agua se haga después de pasados unos días, cuando la lectura de conductividad se estabilice (UNRUH, 2001: 87). De tal manera que las sales vayan migrando, hasta llegar a un equilibrio entre las que se han disuelto y aquellas que aún están retenidas en la cerámica.

Antes de volver a una nueva sesión se deberán cepillar suavemente continente y contenido para hacer

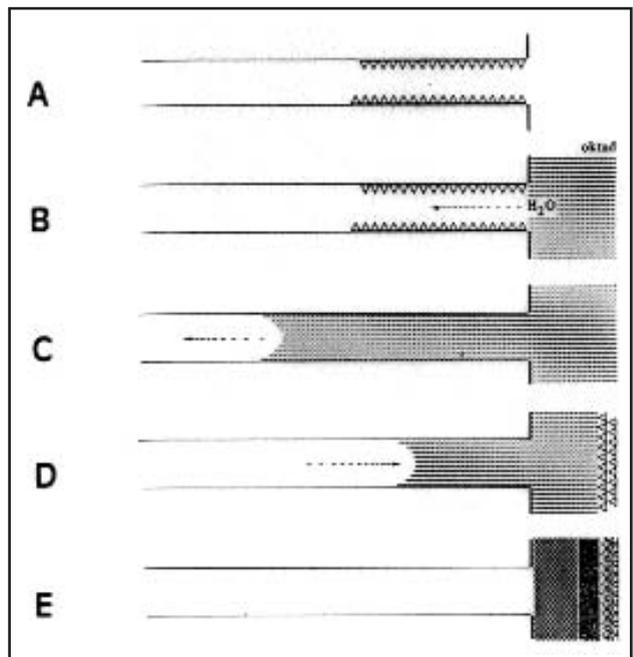


Figura 3: Esquema de la desalación forzada llevada a cabo mediante apósitos; A- Cristales de sal adheridos a las paredes de un poro, B- El agua del emplasto (compresa) entra en el poro, C- Disolución de las sales; D- Salida y recrystalización en la parte posterior del apósito; E- Poro libre de cristales salinos (sg. DOMASLOWSKI *et alii*)

desprender las sales que han quedado en superficie. La mayor parte (cifrado hasta en un 90%) quedan disueltas en los primeros días -al igual de lo que ocurre en el hierro- (BERTIN y LOEPER, 1999), por lo cual si los cambios son muy frecuentes el tiempo necesario se ve acortado de forma apreciable (BARDEN, 1996). Descomponiendo porcentualmente este efecto se ha comprobado que, tras las primeras veinticuatro horas, quedan disueltas el 50% o más de las sales contenidas en la cerámica, entre el 20-25% a las cuarenta y ocho horas, y el 80-90% restante tras el cuarto día. Una vez han pasado doce días se pueden dar a los objetos por desalados (UNRUH, 2001: 86).

De una forma racional MacLeod y Davies (1996:404) realizan los cambios del baño desalador sólo después de que tras ir representando los valores tomados diariamente en una gráfica, ésta, tras ir ascendiendo oblicuamente se comienza a estabilizar en forma de línea horizontal y en lo que se entiende como “meseta”. Representando valores muy semejantes que indican el grado de saturación del baño.

Los llamados *Baños Dinámicos* o desalación forzada se basan en la creación de una corriente artificial de agua, ya que como el calor, el movimiento también hace aumentar la solubilidad (Figura 4).

Los Emplastos son masas pastosas muy eficaces en la desalación de aquellos objetos porosos que no pueden ser sumergidos, o bien eliminar en ellos un determinado foco salino, etc. Se emplean con excelentes resultados para desalar tanto piedra, pintura mural como cerámica (DOMASLOWSKI *et alii*, 1982: 82-86; FRANCO *et alii*, 2002; HODGES, 1993: 153) forzando la salida de las sales al exterior a través de la red capilar. Se basan en saturar con agua desionizada una materia higroscópica neutra como es la pulpa de celulosa (Arbocel o Sepiolita -Hidrosilicato de Magnesio-), hasta conseguir una masa tixotrópica. Se superpone sobre la superficie a desalar, interponiendo previamente un material poroso tal como papel japonés o melinex confeccionando de esta manera un apósito, de tal manera que se produce un intercambio de iones. Se cubre todo el conjunto con una materia -como el plástico- que evite la evaporación. Las sales serán arrastradas del interior de la materia a la superficie (Figura 3). El proceso puede repetirse cuantas veces sea necesario y ser aplicado sobre grandes superficies.

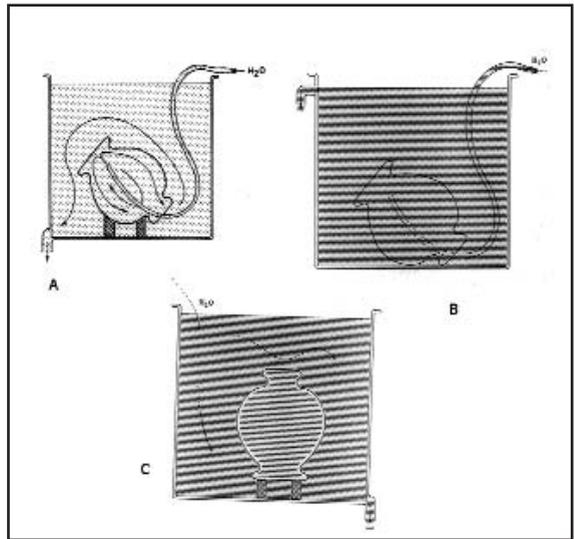


Figura 4: Desalación correcta (A y B) de un recipiente cerámico mediante un Baño Dinámico, y disposición incorrecta (C) (sg. DOMASLOWSKI *et alii* y BERDUCOU)

Podríamos considerar que lo hasta ahora apuntado tiene más que ver con la cerámica extraída de la tierra que con la extraída del fondo del mar. Aquí el problema es mucho más complejo ya no solamente por la cantidad, sino además por la necesidad de ser desalada toda ella, debido a los altos índices de salinidad que su pasta presenta, y la gran cantidad de tiempo que es necesario invertir en el tratamiento. Como paso previo Pearson recomienda (1984: 112) que los fragmentos permanezcan sumergidos en agua marina, y ésta se ira sustituyendo paulatinamente por agua del grifo primero y desionizada después. Si lo hacemos directamente de la primera a la tercera la presión osmótica, puede afectar a engobes y vidriados.

Cuando ha sido necesario desalar estas grandes cantidades de cerámica, ha resultado muy práctica la utilización de contenedores calados de polietileno, que a su vez contienen redes también plásticas convenientemente etiquetadas que separan hallazgos aislados o individuales o bien, grupos diferentes. A través de sus orificios, el agua puede libremente circular y alcanzar cada fragmento. Se han llegado a utilizar con éxito, mediante un riguroso registro, grandes contenedores de hasta 500 litros, que a su vez almacenaban ocho contenedores de menor tamaño, repletos de cerámica retenida en las redes antes mencionadas (MARÍN BAÑO y ZAMBRANO, 1995: 195-198).

Los profesionales siempre hemos dado por hecho que, utilizando mayor volumen de agua por cm^3 de cerámica (en concreto veinte veces el volumen del objeto), la desalación resultaba más rápida y eficaz. A este respecto las experiencias Unruh (2001: 87-88) dictan que la relación 1:15 (objeto:agua) es la que parece disolver mayor número de sales, no que el proceso resulte más rápido. Asimismo no es necesario el cambio diario del líquido, aunque no recomienda retrasarlo demasiados días debido al crecimiento biológico inevitable.

Al contrario de lo que hemos visto, otros autores aseguran, después de diversos ensayos de desalación que ni el cambio de agua, ni el movimiento, ni el calor son eficaces (HODGES, 1993: 152-153). Propone -sin precisar modo ni forma-, que un mayor volumen de sales disueltas en menor tiempo, se consigue mediante un sistema de baño ultrasónico a 60°C , cuya carestía económica y complejidad técnica asegura.

4.2. Actuaciones, modelos y comportamientos físico-químicos en la desalación

Desde antiguo se conocen toda una serie de métodos para llevar a cabo las desalaciones, en función de los comportamientos químicos de las sales. Unos continúan demostrando su eficacia, siendo posible ser mejorados según recientes experiencias. Otras veces, aplicando tratamientos casi de forma mecánica según unos comportamientos que son hoy casi axiomas, se ha demostrado ser equívocos o de eficacia escasa o nula. Son ejemplos de esto que venimos diciendo el calor o la agitación, que a continuación trataremos.

La agitación o movimiento del agua de forma continua (*Baño Dinámico*) a través o en el interior del recipiente donde se encuentra la cerámica, también llamado "Método Craft", ha dado buenos resultados en cuanto a la velocidad de disolución de sales. Si bien su prolongada utilización ha favorecido

en algunos casos la disgregación de la masa cerámica y no ha sido confirmada la eficacia antedicha (COSTA PESSOA *et alii*, 1996: 17). Nosotros durante años hemos experimentado cómodamente este sistema, utilizando un sifón de revelado fotográfico, que es un sencillo mecanismo de regeneración de agua, empleado por los profesionales durante el último lavado de las copias fotográficas en papel.

Como aportación a este modelo para la eliminación de sales por agitación, describiremos el equipo que, de forma más reciente, ha sido diseñado y publicado (KOOB y YEE NG, 2000). Supone la circulación constante del agua de desalación a partir de un gran recipiente o tanque de desalación, y en cuyo interior se encuentran sumergidas las cerámicas ya sean recipiente/es o fragmentos. Éste queda unido a dos columnas de resinas cambiadoras de iones. Quedan unidas éstas a la vez, a una bomba eléctrica de recirculación que realiza el movimiento del agua. Se cierra el circuito por medio de un tubo que une el baño con la citada bomba. El sentido de la circulación es el que hemos descrito. Los autores hacen transportable todo este conjunto instalándolo sobre un carro metálico.

Es aconsejable que si el número de fragmentos cerámicos a desalar es elevado, éstos se dispongan extendidos en bandejas a diferentes alturas dentro del recipiente. El agua forzada se hará circular desde el fondo hacia arriba. Así mismo tendremos en cuenta que, para recipientes más o menos completos, la entrada de agua se realizará por medio de un tubo flexible alojado en el interior y con la cerámica recostada sobre el galbo (Figura 2).

Con respecto a los *Baños Estáticos* desde hace años se conoce el denominado “Método Olson” (SNEYERS y HENAU, 1979: 241) (Figura 5). Se basa en la aplicación de calor hasta los 60° C (DELCROIX y TORTEI, 1973: 194; SNEYERS y HENAU, 1979: 236) ya que como dijimos éste incrementa la solubilidad; incluso alternado estos baños frío-calor. El aumento de la temperatura aparte de dilatar los poros de la materia en cuestión (piedra o cerámica) hace disminuir la tensión superficial⁹, con lo cual el agua del baño puede penetrar más en profundidad. Dicha dilatación puede ser perniciosa para la conservación de ciertas pastas disgregadas o disgregables.

Para eliminar el Sulfato Sódico, Madroñero de la Cal (1988: 69-70) propone un tratamiento del tipo que venimos comentando aunque de forma más intensa,

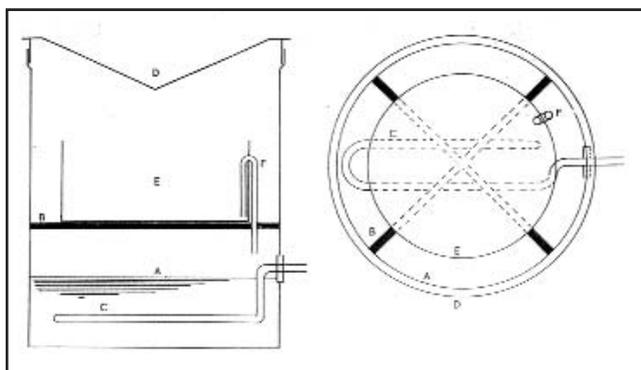


Figura 5: Un modelo basado en el sistema “Olson” para la desalación mediante calor; A- Depósito cilíndrico, B- Plataforma de tela metálica, C- Calentador eléctrico de inmersión, D- Cubeta cónica de cobre, E- Depósito para el objeto sometido a tratamiento, F- Sifón desde E hasta A (sg. Sneyers y Henau)

de tal manera que se trataría más bien de un recocido a baja temperatura. El fin es alcanzar en varios días los 125°C de la siguiente manera: durante los diez primeros, llegar a los 100°C y así mantenerlos diez días más. Progresivamente y hasta el treinta y seis alcanzar los 125°C manteniéndolo así quince. A partir de esta fecha se irá descendiendo hasta los 0°C en los cinco días siguientes. El aumento de la temperatura creará la reacción del Sulfato Sódico hidrolizado en Sulfato Sódico + H₂O, que se evaporará en la red capilar. El propio autor lo cree poco factible por el tiempo y la carestía del tratamiento.

Esto último nos hace pensar en el posible perjuicio para las cerámicas en cuanto al exceso de su permanencia en el agua. Al quedar empapados por completo los fragmentos cerámicos, producto de la desalación o bien los lavados, puede llegar a producirse un debilitamiento estructural por dilatación o el lixiviado (disolución) de determinados componentes (BERDU-COU, 1987: 24; DOMASLOWSKI *et alii*, 1982: 86; KOOB y YEE NG, 2000: 271). De esta manera ha sido confirmada la presencia de óxidos de hierro en el baño utilizado en determinadas cerámicas andinas del Museo de Arte de Brooklyn (UNRUH, 2001: 81).

Y finalmente, otro de los efectos observado en el agua de la desalación tras la permanencia de varios días sin ser cambiada, es la proliferación de microorganismos. Leves películas se transforman al cabo del tiempo en concentraciones de tacto viscoso, oscureciendo su color posteriormente. Debemos cambiar de inmediato el baño y cepillar los objetos, si bien por precaución y antes de continuar con el tratamiento deberían permanecer sumergidos en un baño previo de agua con unas gotas de funguicida como Borax o Timol, con el fin de eliminar la posible infección bacteriana. Asimismo se ha propuesto el uso de Amonio Cuaternario (SNEYERS Y HENAU, 1979: 235). En nuestro caso el agua de mar es particularmente propensa a este fenómeno, debido a la cantidad de microorganismos de que está formada.

4.3. La conductividad. Su medida y el valor límite o punto final

El control sobre las sales que se van disolviendo es algo fundamental, basándose en la relación directa que existe entre la salinidad del agua utilizada en el proceso y su conductividad. Este control se podría definir como la capacidad de conducir la corriente eléctrica, en función de las sales (que actúan como electrolito) que en ella se encuentran disueltas. Será necesaria una temperatura de referencia, pues la conductividad depende de ella¹⁰. De esta manera sabremos cuando podemos dar por finalizada esta fase. La conductividad será medida por conductivímetros cuya sonda proporciona un guarismo en función de los mg/l de sal presentes; cantidad que se expresa en Microsiemens (Ms/cm-1). La cifra de la conductividad será más fidedigna, si el recipiente donde realizamos la desalación se encuentra cerrado, ya que de otra manera los contaminantes atmosféricos e inclusive el polvo, todo ello en suspensión, pueden llegar a disolverse en el agua del tratamiento y alterar nuestra medición. Las medidas serán tomadas siempre en el fondo de los recipientes utilizados para la desalación, ya que las sales tienden a depositarse en el fondo.

Las diferentes mediciones que nos vaya monitorizando el conductivímetro, las iremos reflejando en una gráfica para ir obteniendo una representativa curva. En las ordenadas se colocarán los valores que se correspondan con la raíz cuadrada del tiempo en horas o días. Mientras que en las abscisas la conductividad obtenida en Ms/cm^{-1} .

Con el fin de normalizar las medidas de conductividad, Unruh (2001: 82-83) ha desarrollado una sencilla y particularmente útil fórmula, que pone en relación volúmenes conocidos de cerámica a desalar y el agua de su baño:

$$K (L) / \text{gm} = K_{\text{adj}}$$

Donde “K” es la medida de conductividad del baño que nos indica en un determinado momento el aparato de medición. “L” es el volumen -en litros- del agua utilizada en el baño, y “gm” el peso -en gramos- del objeto u objetos (recipientes o fragmentos) que se desalan. La abreviatura “adj” responde al concepto de “Conductividad Ajustada”, y es el guarismo o cantidad que se obtiene de operar los anteriores valores.

A la vez, y para poder conocer la correspondencia entre el volumen de agua del baño (ml) que le corresponde por unidad de gramo (g) de la cerámica desalada, nuevamente desarrolló una nueva fórmula

$$\text{ml} / \text{g} = \text{ml} / \text{gr}$$

Así por ejemplo, a 1200 gr (g) de cerámica a desalar en 5000 ml de agua, le corresponden 4,16 ml de agua por cada gramo (gr) de cerámica. De esta manera se obtiene un valor que permite comparar diferentes tratamientos entre sí, llevados a cabo en un mismo yacimiento, o bien en diferentes y poder llegar a establecer en cada yacimiento, región, etc., el volumen de agua mínimamente necesario para desalar con éxito y rapidez la cerámica. Su utilidad en emplazamientos excavados en países donde el agua escasea (BOURGEOIS, 1987; UNRUH, 2001), ha resultado singularmente útil.

MacLeod y Davies (1996:407) con el fin de normalizar valores, realizan un cálculo aproximado de la cantidad de sales respecto al volumen de los objetos motivo de la desalación, aplicando la fórmula:

$$R_N = R_{\text{ppm}} \cdot X/Y$$

Donde “X” es el volumen del agua de lavado expresada en litros, mientras “Y” representa el área de superficie geométrica del objeto expresada en centímetros cuadrados. Por lo que “R” supone tanto la cantidad de cloruros medida en el baño expresada en partículas por millón (ppm), como el resultado final.

No en demasiadas ocasiones se ha incidido en relación al tema que nos compete, en algo tan importante como es el saber de qué manera y cuándo nuestras cerámicas se encuentran desaladas, estabilizadas y por lo tanto dar por finalizado el tratamiento. Más en concreto lo que Berducou (1990: 98) ha denominado *Valor Límite* y Unruh (2001: 83-90) *Punto Final*, y considerando además este último autor, que deberá ser un valor numérico que sea posible de extrapolar a partir de las mediciones. En el momento actual de nuestros conocimientos es difícil ofrecer de forma categórica una cantidad exacta y su porqué.

En buena lógica, este crítico momento podría haber llegado cuando exista escasa diferencia entre los reducidos valores obtenidos por el conductímetro en cada medición, y también que su reflejo en la gráfica nos ofrezca una línea baja y paralela al eje de adscisas. Otros autores han establecido niveles de conductividad entre los 75-100 Ms/cm-1 (PETERAKIS, 1987: 72) ó 150 Ms/cm-1 (OLIVE y PEARSON, 1975), a partir de los cuales la cerámica no presenta problemas.

5. Desconcrecionado-disolución de sales insolubles

La denominación de insolubles hace referencia a un conjunto de concreciones formadas por precipitación química sobre los objetos, cuya dureza es mayor que el propio material cerámico -aunque en modo alguno de forma exclusiva- al que recubren, y al que fuertemente se adhieren debido a su conocida porosidad. Estas concreciones pueden presentarse sobre tales objetos de forma parcial, o bien cubrirlos por completo hasta -habiendo amalgamado todo lo que hubiese alrededor-, hacerlos irreconocibles. Son insolubles al agua y de ahí su denominación, aunque esta característica no es del todo cierta, ya que si se produce un persistente y continuo paso del poder de este elemento, raro es que con el tiempo no termine descomponiendo las costras que a ella se encuentran expuestas. Pueden formarse inclusive en el interior de la pasta en forma de calcita secundaria (calcita micrítica), como producto de alteración a partir de una disociación de la calcita original presente en la arcilla (BUXEDA I GARRIGÓS y CAU ONTIVEROS, 1995).

Tales adherencias suelen ser normalmente de dos tipos: Sulfatos y Carbonatos de Calcio. Reconoceremos a estos últimos si, tomando una muestra y atacándola con una gota de ácido, ésta se disuelve en efervescencia con desprendimiento de CO₂. A los Sulfatos, si una vez atacada con ácido una muestra,

ésta efervece levemente, probaremos seguidamente con Cloruro de Bario al 1%. Si efectivamente son Sulfatos se producirá un precipitado de color blanco (BUYS y OAKLEY, 1998: 90).

Su eliminación se puede acometer de forma química o mecánica. Esta última no siempre resulta ni la más eficaz y la más conveniente, aunque a su favor se encuentra el hecho de que no ponemos en contacto la cerámica con elemento químico alguno. Se lleva a cabo por medio de agujas, bisturís, punzones.... para efectuar picados estáticos, o bien abrasión mediante micro-tornos o microabrasímetros. Pero al ser estas concreciones más duras que la propia cerámica y permanecer extremadamente adheridas, corremos el riesgo de alterarla

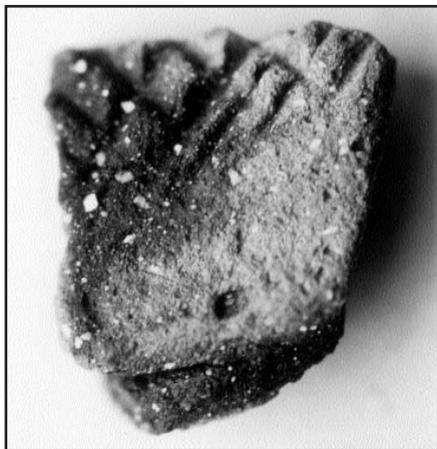


Lámina VI: El mismo fragmento de la lámina V, una vez fue desconcrecionado mediante tratamiento térmico

seriamente. De tal manera que la solución que en muchos casos suele adoptarse, es conjugar en un término medio la inocuidad de la limpieza de tipo mecánico, una vez la efectividad de los tratamientos químicos han logrado desprenderlas.

Los tratamientos químicos son variados. Deberemos siempre poner especial cuidado en su aplicación como interés en la dosificación justa si optamos por esta solución. Las cantidades nunca serán en exceso, trataremos la cerámica habiéndola saturado previamente con agua, y procuraremos la total eliminación y neutralización de los productos químicos empleados; los ácidos con los básicos y viceversa, agua... No deberá quedar resto alguno en la red de poros, de tal manera que no pueda llegar a desencadenar efectos secundarios a lo cual el vacío puede sernos de utilidad. Si efectuamos la extracción de sales solubles después de la desconcreción, realizaremos una doble función como es una profunda neutralización de los productos, y la desalación propiamente dicha. A continuación pasaremos revista a los cinco tratamientos más eficazmente empleados, siendo químicos buena parte de ellos.

Los productos complejantes o complexonas (también denominados como agentes secuestrantes)¹¹ son derivados del ácido Etilen Diamonio Tretacético, y han supuesto siempre una excelente alternativa a la utilización del ácido sobre concreciones de carbonato cálcico. Soluciones de EDTA tetrásódica al 5% (JOVER ARMENGOL, 1989: 48) ó 10% (ZAMBRANO VALDIVIA *et alii*, 1992: 34) han dado buenos resultados sobre concreciones en cerámica extraída del mar. Hasta el punto que se ha recomendado su utilización sobre cerámica vidriada de procedencia subacuática antes que cualquier ácido, ya que pese a ser un tratamiento químico-básico mucho más lento, indudablemente se controla mejor (PEARSON, 1984: 111-112; 1987:254). El único cuidado que deberemos tener es la posible lixiviación de elementos metálicos que componen la masa cerámica (BERDUCOU, 1990: 101-102; FERNÁNDEZ IBÁÑEZ y SEVA ROMÁN, 2003). Como alternativa se propone el Hexametáfosfato de Sodio o la sal de Amonio Cuaternario (JOVER, 1998: 31); ambos en una concentración al 10%. Otros agentes secuestrantes utilizados en el tratamiento de la cerámica son el Fosfato Trisódico y el Citrato Sódico (BUYS y OAKLEY, 1998: 90-91).

M. Berducou (1990: 101) para la desconcreción del Carbonato Cálcico, habla de sumergir los objetos durante media hora aproximadamente en una disolución al 10% de Hidrosulfito de sodio. Finaliza el tratamiento con un baño neutralizador en caliente de ácido Etilen Diamino Pentacético (DIPA) durante bastantes horas (de Ph específico según lo que deseemos disolver: hierro, calcio...), seguido de cepillados.

Nosotros hemos obtenido buenos resultados sometiendo durante varias horas los fragmentos de cerámica recubiertos de Carbonatos y Sulfatos (Láminas V y VI), a una temperatura de entre 120°-150° C, en estufa tanto de aireación natural como forzada. Se ha de alcanzar dicho máximo y enfriar de forma paulatina, con el fin de evitar alteraciones resultado de las tensiones que pudieran producirse por los choques térmicos. El calor se ha utiliza-

do inclusive llevándolo hasta el objeto de cerámica donde se encontraba la concreción, mediante una espátula térmica (MARSAL MOYANO *et alii*, 1988: 8).

Los tratamientos desarrollados para disolver otro tipo de sales como son por ejemplo las de Sulfato de Calcio, claramente han sido de menor interés entre los especialistas y éstos apenas han dejado algo de literatura sobre ellas. Así, y al sistema mediante calor que vimos en el apartado anterior y que también es eficaz en este caso, se ha empleado con éxito el Carbonato de Amonio en caliente; sin especificar concentración alguna (SINGH, 1987: 58). Finalmente se ha citado el uso de ácidos tradicionales como son Nítrico y Clorhídrico (BUYS y OAKLEY, 1998: 89; GEYDE, 1979: 119).

Precisamente el empleo de los ácidos a diferentes concentraciones son los métodos y productos más tradicionales para la disolución de sales insolubles, principalmente de tipo cálcico. En los primeros trabajos de conservación hacia mediados de los años cincuenta del pasado siglo XX y aún en años posteriores, el Ácido Clorhídrico diluido fue el más empleado (PLENDERLEITH, 1967: 376-377). Junto con el Nítrico se ha venido recomendando prácticamente hasta nuestros días (BUYS y OAKLEY, 1998: 89; GEYDE, 1979: 118). Aunque ya vimos anteriormente como su defectuosa neutralización produjo efectos secundarios. Si bien, hoy éstos se encuentran prácticamente descartados y los profesionales se decantan por cualquier otro debido a las sales que aportan, o bien reducen su uso al mínimo imprescindible. Otros ácidos empleados en conservación son el Cítrico y el Acético. Como los anteriores, siempre se aplican muy rebajados y en contadas ocasiones por inmersión (gruesas y/o duras costras, etc.), con los objetos previamente saturados de agua, sin largas exposiciones...

Los argumentos que se han esgrimido en contra de la utilización de productos ácidos hablan de la disolución de los elementos de hierro, que en forma de Óxidos e Hidróxidos (Lepidocrocita o Magnetita) forman parte de la composición de la cerámica arqueológica y/o de los engobes que la recubren; lo que no ocurre en la porcelana (PEARSON, 1987: 254). Este efecto puede llegar a producir cambios de coloración al oxidarse componentes resultando un color amarillento. Y también otros productos de tipo carbonato tales como desgrasantes o calcita primaria y secundaria, que forman parte de la composición en las cerámicas carbonatadas tales como la *terra sigillata* romana.

Desde hace años sabemos de un tratamiento que nos proporcionó nuestro maestro Raúl Amitrano Bruno, y que él mismo nos anunció que no solía dar buenos resultados; mas pese a todo lo exponemos aquí, como referencia. Consiste en depositar el objeto a limpiar dentro de una campana de vidrio, junto al cual se coloca un recipiente conteniendo un fragmento de mármol, y otro recipiente con agua para crear un ambiente saturado de humedad. Antes de aislar el conjunto se ataca el mármol con ácido. El desprendimiento de CO_2 transformará el carbonato en un bicarbonato soluble. Se acelera el proceso haciendo incidir desde el exterior un haz de luz infrarroja sobre la zona puntual que deseemos disolver, o eliminarlo con más intensidad, etc.

Finalmente comentar el uso de la Papeta AB-57. Se trata de una papilla espesa y tixotrópica (sol). Es un producto inventado en Italia hace ya años para eliminar el carbonato cálcico de la pintura mural, y ampliamente conocido y empleado. Está compuesto por agua (1000 cc.), Bicarbonato de Amonio (30 g.), Bicarbonato de Sodio (50 g.), Desogén¹² (25 g.) y Carboximetilcelulosa (6 g.) (MORA, MORA y PHILIPPOT, 1977: 400-401), aunque hoy es posible de adquirir ya preparado. Indudablemente es un tratamiento controlable aunque muy lento y poco agresivo. Por lo tanto poco o nada adecuado para la eliminación de gruesas costras como las formadas en cuevas o bajo el mar. En cambio, puede ser aplicada sobre finos velos de carbonato, cuando la masa subyacente a la incrustación pueda soportar su acción. Puede ser extendida con pincel directamente aplicando capas de espesor uniforme o aún mejor, interponiendo una lámina de papel japonés. Esta papilla también ha sido empleada con éxito para eliminar antiguos depósitos de sulfato sobre la superficie cerámica, pero sin la adición en ella de la sal de EDTA (BAROV, 1988: 166).

Utilizadas recientemente para la eliminación de carbonatos, son las resinas de intercambio iónico catiónico. Tenemos noticias de que son bastante efectivas sobre las costras cerámicas, e inclusive sobre los velos blanquecinos que cubren lienzos de pintura mural (Osca Pons, *J et alii.*, 2003:48). El producto es conocido como "Amberlite IR 120H" cuyo fabricante es la prestigiosa firma americana Rohm & Hass.

Agradecimientos

Deseamos agradecer a nuestros amigos y compañeros de profesión Fernando Carrera Ramírez de la Escola Superior de Conservación e Restauración de Bens Culturais de Galicia, y a José M^a Alonso García de la Facultad de Bellas Artes de Granada, sus valiosos comentarios, que han servido indudablemente para enriquecer la redacción final de este artículo.

Bibliografía

- BARDEN, R. (1996): "The análisis and reconstruction of islamic glass-ait ceramics, and comparative methods of desalination", *Objets Specialty Vol.III*, Washington, 64-69.
- BAROV, Z. (1988): "The reconstruction of a greek vase: the Kyknos cráter", *Studies in Conservation* 33(4), Londres, 165-177.
- BERDUCOU, M. (1987): "La céramique et le verre", *Conservation des Sites et du Mobilier Archéologiques. Principes et Méthodes*, UNESCO, Paris, 22-33.
- BERDUCOU, M. (1990): "La céramique archéologique", *La Conservation en Archéologie* (M.Berduco ed.), Paris, 78-119.
- BERTHOLON, R. y RELIER, C. (1990): "Les métaux archéologiques", *La Conservation en Archéologie* (M.C.Berduco ed.), Masson, Paris, 163-221.
- BERTIN, F. y LEOPER-ATTIA, M.A. (1999): "Réflexions autour de l'optimisation du traitement par le sulfite alcalin", *A la Recherche du Metal*

- Perdu*, Editions Errance, Paris, 113.
- BOURGEOIS, B. (1987): *La conservation des céramiques archéologiques. Étude comparée de trois sites chypriotes, Collection de la Mison de l'Orient Méditerranéen 18, Série Archéologique 10*, Paris.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. y CAU ONTIVEROS, M. A. (1995): “Identificación y significado de la calcita secundaria en cerámicas arqueológicas”, *Complutum 6*, Madrid, 293-309.
- BUYS, S. y OAKLEY, V. (1998): *Conservation and restoration of ceramics*, Butterworth Heinemann, London (3ª edición).
- COSTA PESSOA, J., FARINHA ANTUNES, J. L., FIGUEIREDO, M. O. y FORTES, M. A. (1996): “Removal and analysis of soluble salts from ancient tiles”, *Studies in Conservation 41*(3), London, 153-160.
- DELCROIX, G. y TORTEL, C. (1973): *Contribution a l'elaboration d'une methodologie de la sauvegarde des Biens Culturels*, Paris.
- DOMASLOWSKI, W. et alii. (1982): *La conservation préventive de la pierre, Musées et Monuments XVIII*, UNESCO, Paris.
- ESBERT, R. M^a., ORDAZ, J., ALONSO, F. J. y MONTOTO, M. (1997): *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*, Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, Barcelona.
- ESTELLER ALBERICH, M^a. V., GIMÉNEZ FORCADA, E. y MORELL EVANGELISTA, I. (1989): “Los nitratos en las aguas subterráneas de la Plana de Castellón”, *Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura LXVII (III)*, Castellón, 499-512.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1988): “Primeros datos acerca de los problemas de conservación planteados por la T.S.H. de Juliobriga (Cantabria). Causas y efectos”, *Pátina 2*, Madrid, 38-40.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1990): “Conservación y restauración de cerámica campaniforme. Trabajos desarrollados en uno de los recipientes del monumento megalítico de As Pontes (A Coruña)”, *Gallaecia XII*, A Coruña, 153-169.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1998): “Algunas observacións sobre conservación e restauración de cerámica arqueológica en Galicia”, *Labris 1*, Pontevedra, 38-46.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. y PÉREZ GONZÁLEZ, C. (1983-1984): “Juliobriga. Notas para la conservación de la *Terra Sigillata Hispánica*”, *Altamira XLIV*, Santander, 79-86.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. y SEVA ROMÁN, C. (2003): “Avance al análisis de un modelo de limpieza a base de álcalis para la cerámica arqueológica”, *Sautuola IX*, Madrid.
- FITZHUGH, E. W. y GETTENS, R. J. (1971): “Calclacite and other efflorescent salts on objects -stored in wooden museum cases”, *Science and Archaeology* (R.H.Brill ed.), Cambridge.
- FRANCO, B., GISBERT, J., NAVARRO, P. y MATEOS, I. (2002): “Deterio-

- ro de los materiales pétreos por sales: cinética del proceso, cartografía y métodos de extracción”, *Conservación del Patrimonio: Evolución y Nuevas Perspectivas. Actas del Ier Congreso del GEIIC*, Valencia, 287-293.
- GEDYE, I. (1979): “Cerámica y vidrio”, *La Conservación de los Bienes Culturales, Museos y Monumentos XI*, UNESCO, Paris (2ª edición), 117-122.
- GUINEA LÓPEZ, E. (1953): *Geografía botánica de Santander*, Diputación Provincial, Santander.
- HODGES, H. W. M. (1993): “Tratamiento de conservación de la cerámica en el campo”, *Conservación Arqueológica In Situ* (H.W.M. HODGES y M.A. CORZO eds.), México, 152-157.
- JACKSON, A. y DAY, D. (1986): *Manual para la restauración de antigüedades*, Editorial Raíces, Madrid.
- JEDRZEJEWSKA, H. (1970): “Renoval of soluble salts from stone”, *Conservation of Stone and Wooden Objects*, New York, 19-33.
- JOVER I ARMENGOL, A. (1989): “Conservació i restauració dels objectes arqueològics”, *Excavacions Arqueològiques a Cala Culip – I*, Girona, 45-55.
- JOVER, A. (1998): “La conservació y restauració del material arqueològic”, *Excavacions Arqueològiques Subacuàtiques a Cala Culip 2* (X. NIETO y X. RAURICH eds.), Girona, 30-31.
- KOOB, P. y YEE NG, W. (2000): “The desalination of ceramics using a semi-automated continuous washing station”, *Studies in Conservation* 45 (4), London, 265-373.
- LÓPEZ SOLANAS, V. (1991): *Técnicas de laboratorio*, Edunsa. Ediciones y Distribuciones Universitarias, S.A., Barcelona.
- MACLEOD, I. D. y DAVIES, J. A. (1996): “Desalination of glass, stone and ceramics recovered from shipwreck sites”, *Marine Archaeology. The Global perspectives* Vol. II, Delhi, 401-409.
- MADROÑERO DE LA CAL, A. (1988): “Dos ejemplos de solución de problemas de conservación en piezas cerámicas del Museo Provincial de Murcia”, *Boletín ANABAD XXXVIII* (3), Madrid, 63-74.
- MARÍN BAÑO, C. y ZAMBRANO, L. C. (1995): “Conservación preventiva. Actuaciones desarrolladas en el proyecto arqueológico “Nave Fenicia” de Mazarrón”, *Cuadernos de Arqueología Marítima* 3, Cartagena, 187-199.
- MARSAL MOYANO, M. *et alii* (1988): “Restauración de terracotas púnicas”, *Pátina* 3, Madrid, 3-8.
- MORA, P., MORA, L. y PHILIPPOT, P. (1977): *La conservation des peintures murales*, Bologna.
- OLIVE, J. y PEARSON, C. (1975): “The conservation of ceramics from marine archaeological sources”, *Conservation Archaeology and the Applied Arts*, London, 199-204.
- OSCA PONS, J. *et alii* (2003): “Restauración de la decoración pictórica exterior de la iglesia de San Roque en Oliva”, *R & R* 75, Madrid, 46-51.
- PEARSON, C. (1984): “La conservation du patrimoine subaquatique”, *La*

- sauvegarde du Patrimoine Subaquatique, Cahiers Techniques: Musées et Monuments 4*, UNESCO, Paris, 79-136.
- PEARSON, C. (1987): "Conservation of ceramics, glass and stone", *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Oxford, 253-267.
- PETERAKIS, A. B. (1987): "The deterioration of ceramics by soluble salts and methods for monitoring their removal", *Recent Advances in the Conservation and Analysis of Artifacts*, London, 67-72.
- PICON, M. (1976): "Remarques préliminaires sur deux types d'alteration de la composition chimique des céramiques au cours du temps", *Figlina 1*, Lion, 159-166.
- PLENDERLEITH, H. J. (1967): *La conservación de antigüedades y obras de arte*, Madrid.
- SEMCZAK, C. M. (1977): "A composition of chloride test", *Studies in Conservation* 22(1), London, 40-41.
- SINGH, A. P. (1987): *Conservation and museum techniques*, Agam Kala Prakasham, Delhi.
- SNEYERS, R. V. y HENAU, P. J. de (1979): "La conservación de la piedra", *La Conservación de los Bienes Culturales, Museos y Monumentos XI*, UNESCO, Paris (2ª edición), 223-250.
- TEUTÓNICO, J. M. (1988): *A laboratory manual for architectural conservators*, ICCROM, Roma.
- THEILE BRUHMS, J. M. (1996): *El libro de la restauración*, Alianza Editorial, Madrid.
- UNRUH, J. (2001): "A revised endpoint for ceramics desalination at the archaeological site of Gordion, Turkey", *Studies in Conservation* 46(2), London, 81-92.
- WHEELER, G. S. y WYPYSKI, M. T. (1993): "An unusual efflorescence on greek ceramics", *Studies in Conservation* 38(1), London 55-62.
- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. *et alii* (1992): "La conservación de los materiales silíceos procedentes de la I campaña de la Carta Arqueológica Subacuática del litoral de Murcia", *IIªs Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias*, Oviedo, 29-35.

Notas

¹ Si bien el agua de mar es una gran y variada composición salina, cuyos principales elementos se encuentran presentes en las siguientes proporciones: Cloruro de Sodio 77'8%, Cloruro de Magnesio 10'9%, Sulfato de Magnesio 4'7%, Sulfato de Calcio 3'6%, Sulfato de Potasio 2'5% y Carbonato de Calcio 0'5%.

² Ejemplo de un producto cerámico muy higroscópico como puede ser un ladrillo, su porosidad se ha calculado en torno a un 40%, siendo capaz de absorber una cantidad de agua entre 0'05-0'30 gr/cm² minuto. Sus poros presentan un diámetro de < 0'25 μ, siendo del 6% su valor mínimo de absorción de agua (ESBERT, ORDAZ, ALONSO y MONTOTO, 1997: 96 y 99).

³ Es necesario hacer una división y aclaración de ciertos conceptos como son los términos *eflorescencias* y *subeflorescencias*. Las primeras se definirían como "la

formación de un depósito de sales minerales sobre la superficie de una pieza cerámica determinada, por exposición de los agentes atmosféricos” habiendo sido ya redactada en 1925. Y las segundas, serían aquellas sales que cristalizan en el interior de poros y fisuras, y cuya visualización no es perceptible desde el exterior (ESBERT, ORDAZ, ALÓNSO y MONTOTO, 1997: 98 y 99).

⁴ La Carnalita es un Cloruro doble de Potasio y Magnesio hidratado ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ó $KMgCl_2 \cdot 6H_2O$) de color blanco, parduzco o rojizo... fosforescente, delicuescente, de sabor amargo y muy blando; dureza 1 en la escala de Mohs.

⁵ Otra forma más sencilla de testar cloruros, aunque menos eficaz y recomendable pues sería necesario una altísima presencia de sales, es calentar una cucharilla que contenga una muestra del agua. Al evaporarse ésta, la cristalización nos anunciará la existencia (JACKSON y DAY, 1986: 22).

⁶ Si no se consigue en el mercado puede ser preparado en el laboratorio, disolviendo 1 gr. de Ácido Sulfámico en 30 cm³ de Ácido Acético. Seguidamente se diluye en 70 cm³ de agua destilada.

⁷ Igualmente y si no se consigue en el mercado, puede ser preparado en el laboratorio disolviendo 0,3 gr. de - Naftilamina en 30 cm³ de Ácido Acético, y posteriormente disolver en 70 cm³ de agua destilada.

⁸ Disolver 1,4 gr de Sulfato de Hierro (II) heptahidratado - $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ - en 10 cm³ de agua destilada. Se deberá guardar tapado.

⁹ Según R. Margalef a las siguientes temperaturas les corresponden tensiones superficiales:

0°C	75´6 Dinias / cm-1
10°C	74´4 Dinias / cm-1
20°C	72´7 Dinias / cm-1
30°C	71´2 Dinias / cm-1

¹⁰ La mayor parte de las disoluciones acuosas poseen una variación de temperatura aproximadamente de un 2% por cada grado C°. Valor que suele estar corregido en estos aparatos.

¹¹ Llamamos “Agentes Secuestrantes o Complejantes” a aquellos elementos que están compuestos por moléculas polares con fuertes partes negativas, capaces de unirse a cationes metálicos por fuerzas de tipo electrostático, descomponiendo estos compuestos después de “secuestrar” moléculas de los elementos que lo conforman, y formando complejos. Si la molécula secuestrante tiene dos zonas con posibilidad de unirse ambas a un ion metálico, estaremos en presencia de un “quelato” (pinza). Los grupos amino (-NH₂), carboxilo (-COOH) e hidroxilo (-OH) intervienen de forma frecuente en la formación de quelatos (BERTHOLON y RELIER, 1990: 201).

¹² Debido a la dificultad de encontrar este producto fue sustituido por sal disódica de EDTA.